

Величина температурного перепада между поверхностью плитки и окружающей средой равна

$$\Delta T_2 = \frac{\sigma R^2}{a \cdot Bi}.$$

При температурах ниже 350–400 °С охлаждение изделий по прямолинейной зависимости вести практически невозможно. Здесь необходимо плавное изменение температуры по закону, близкому к экспоненте:

$$T_{c(t)} - T_1 = (T_1 - T_0)e^{-kt},$$

где T_1 – конечная температура среды;
 T_0 – начальная температура среды;
 k – темп охлаждения.

При этом в отливках постепенно реализуются остаточные напряжения, что менее опасно, поскольку прочностные свойства материала стали уже достаточно высокими.

В процессе окончательного охлаждения все температурные градиенты исчезнут, в результате чего сформируются остаточные температурные напряжения. Любые отклонения от квазистационарного режима в области чисто упругого состояния приводят к возникновению временных или остаточных температурных напряжений.

**В. С. Балин,
В. М. Карпов**

РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГОРНБЛЕНДИТОВЫХ ОТЛИВОК

В настоящее время в камнелитейном производстве для охлаждения отливок используются туннельные печи непрерывного действия длиной до 40 м и более. В головной части печи в зоне садки отливок температура поддерживается в пределах 800–950 °С и зависит от вида отжигаемого литья. В случае термической обработки некоторых видов кокильных отливок, которые кристаллизуются в специальных печах, в садочной зоне охлаждающей печи устанавливается температура 800–850 °С. При отжиге

отливок, получаемых в песчаных формах, температура в зоне садки повышается до 900–950 °С, так как изделия должны пройти стадию кристаллизации. Роль кристаллизатора в данном случае играет головная часть печи.

Охлаждение литья в туннельной печи ведется от температуры садки до 50–100 °С со скоростью 25–100 град/ч, причем, как правило, скорость снижения температуры постоянна по длине печи. По данным Института проблем литья скорость охлаждения плиточных изделий в интервале температур 700–600 °С не должна превышать 40–50 град/ч, а более сложных отливок, например труб диаметром 200 мм и длиной до 1500 мм, – 25–30 град/ч.

Проведенные исследования реологических свойств горнблендитового литья позволили произвести корректировку существующих режимов термической обработки камнелитых изделий. До температуры 750 °С материал отливок обладает вязкопластическими свойствами, поэтому в интервале температур 750–950 °С скорость охлаждения литья может достигать довольно значительных величин. В этом температурном интервале происходит практически полная релаксация температурных напряжений, образующихся в процессе охлаждения изделий. Это означает также, что закристаллизованное литье можно охлаждать в печи с температурой 750–800 °С, минуя высокотемпературную область. Следует, однако, учесть, что в период кристаллизации различные точки отливки охлаждаются с разной скоростью. Так, у пластины (плитки) быстрее других зон охлаждаются углы и ребра. В объеме такой отливки могут возникать значительные температурные перепады. Поэтому при садке отливки в печь температура любой ее точки должна быть не ниже 750 °С.

Для выравнивания температуры по объему необходимо некоторое время выдерживать изделия при температуре 750–800 °С. Время изотермической выдержки зависит от массы отливки и ее сложности. Так, например, для пластины толщиной 30 мм достаточно 30 мин, а для пластины толщиной 60 мм – 60 мин.

Дальнейшее охлаждение камнелитых изделий необходимо производить со скоростью, которая подбирается для каждого вида отливок отдельно.

Проверка правильности заключений, сделанных на основе проведенных реологических исследований, осуществлялась на различных горнблендитовых отливках, изготавливаемых на Первоуральском заводе горного оборудования (ПЗГО). Так, например, на центробежной машине получены партии труб диаметром 250 мм и длиной 800 мм. Отформованные трубы

подвергались специальной термической обработке в печи марки Н-30. В каждой партии отливали по 3–4 трубы, причем первая труба использовалась для разогрева изложницы и определения визуальной кристаллизационной способности расплава. В опытах строго выдерживались одни и те же технологические режимы формирования труб, время пребывания на воздухе и положение в отжигательной печи.

Установлено, что при охлаждении труб со скоростью 30–60 град/ч в интервале температур от 800 до 250 °С отливки получают годными и не имеют микро- и макротрещин. При дальнейшем увеличении скорости охлаждения до 70–80 град/ч получить годные трубы не удавалось. В этом случае все опытные отливки имели чаще всего сквозные продольные трещины.

Весь температурный интервал отжига изделий был разделен на два участка: первый – от 800 до 750 °С; второй – от 750 до 150 °С. Проведенные опыты показали, что в первом интервале отливки не чувствительны к резким температурным перепадам и к повышенной скорости охлаждения (до 300 град/ч). Подобное явление можно объяснить тем, что при этих температурах камнелитой материал находится в вязкопластическом состоянии, что предупреждает возникновение температурных напряжений.

В интервале температур от 750 до 150 °С отливки могут охлаждаться со скоростью до 60 град/ч. При этом механические свойства материала повышаются по мере снижения температуры и возможные остаточные напряжения становятся менее опасными. Опытным путем установлено, что существенное повышение скорости охлаждения отливок при этих температурах или любой температурный удар приводит к разрушению последних.

В последней серии опытов было залито 6 труб, 5 из которых прошли термическую обработку начиная с 750 °С, минуя высокотемпературный интервал, с последующим охлаждением со скоростью 60 град/ч. Все отливки получились годными, не имели просечек и трещин.

Таким образом, отжиг кокильных горнблендитовых отливок (плитка, трубы, лотки, простейшие фасонные изделия) можно проводить начиная с температуры 750–780 °С без ущерба для их качества. Следует, однако, помнить, что отжигаемые отливки должны быть достаточно полно закристаллизованы и не иметь поверхностного остеклования. Снижение температуры начала процесса отжига особенно важно для крупногабаритных отливок, которые при температурах выше 750–780 °С деформируются под действием собственной массы.

На Первоуральском заводе горного оборудования была освоена технология производства труб диаметром 760–800 мм и длиной 1250 мм. Первые опытные отливки показали, что обычные режимы термической обработки кокильного литья не переносимы на крупногабаритное литье. Уже при температурах 800–820 °С в отжигательной печи трубы начинали деформироваться под действием собственной массы. Повышение кристаллизационной способности расплава за счет снижения содержания кремнезема до 46–48% не принесло ожидаемых результатов. Хотя структура отливок получалась крупнокристаллической и доля межкристаллического стекла не превышала 3–5%, устранить деформацию (овальность) труб не удавалось. Практически полностью освободиться от этого вида брака удалось только тогда, когда начальная температура садки была снижена до 750–780 °С.

Подобный низкотемпературный отжиг может быть использован не только при производстве кокильных отливок. При литье в песчаные формы после кристаллизации отливок температура в печи может быть снижена сразу до 750 °С. Подобные режимы опробованы на первой очереди камнелитейного цеха ПЗГО. В настоящее время на этом заводе время отжига плиток, залитых в песчаные формы, составляет 6–8 ч при браке 3–5%, что позволило увеличить производительность данной линии на 50–60%.

Таким образом, продолжительность термической обработки каменных отливок может быть сокращена за счет снижения начальной температуры отжига.

Для определения температурных перепадов в теле отливок при охлаждении были проведены опыты по нагреву и охлаждению двух видов горнблендитовых отливок. В камерную печь марки Н-45 помещалась плитка размером (250×180×50) мм и труба диаметром 250 мм и длиной 500 мм с толщиной стенки 35 мм. В формах (отливках) монтировались горячие спайи термопар. Запись охлаждения велась с помощью электронного потенциометра ЭПП-9 с переделанной убыстренной кареткой перемещения записи температуры и интервалом между точками, равным одной секунде. Отливки нагревались со скоростью 100 град/ч, охлаждение велось вместе с печью.

Исследование температурных зависимостей нагрева и охлаждения опытных отливок проводилось в квазистационарном режиме. При охлаждении отливок осуществлялись преднамеренные тепловые удары в интервале температур 750–900 и 400–750 °С. Экспериментальные данные свиде-

тельствуют о быстром восстановлении регулярного режима после его нарушения. Однако тепловые удары сопровождаются появлением временных напряжений, а также вызывают изменение знаков напряжений в теле отливки. Подобные возмущения оказались не опасными в высокотемпературной области (выше 750 °С) и приводили к разрушению отливок в области упругого состояния, что подтверждается ранее проведенными опытами.

**А. С. Дрейзин,
В. Б. Поль**

ЛИТЕЙНЫХ ДЕЛ МАСТЕРА

Успехи машиностроения и приборостроения, развитие авиации и ракетной техники немыслимы без применения металлических изделий. Металлургия издавна считалась важнейшей отраслью экономики любой страны. Обычно металлургами называют рабочих и специалистов, работающих на предприятиях по производству чугуна в доменных печах, стали в конвертерах или мартенах, фасонных длинномерных изделий в прокатных цехах. Но огромное место в любой отрасли экономики занимает так называемая малая металлургия, а именно литейное производство.

Авторитет любой профессии во многом зависит от того, как мы относимся к ней. К. Д. Ушинский писал, что если вы вложите в труд свою душу, то счастье само вас отыщет. Следует отметить коллективный характер труда литейщиков в процессе получения качественного литого изделия. Литейное производство носит комплексный характер, объединяет знания и опыт по многим техническим дисциплинам. Чтобы получить необходимое литое изделие, нужен сплав определенного состава. Здесь важны глубокие знания в области теории металлургических процессов и теплотехники. Далее нужно залить расплав в формы с обеспечением мер по предотвращению образования возможных дефектов. При этом без знания законов гидравлики и теплофизики не обойтись. За счет применения различных материалов форм: песчано-глинистых, металлических и др. – необходимо обеспечить получение такой литой структуры, которая учитывала бы условия эксплуатации детали. Среди ее характеристик важны износостойкость, жаростойкость, гидроплотность и др. В случае недостаточного уровня эксплуатационных характеристик детали в литом состоянии сле-